

高密度聚乙烯(HDPE)小型無人雙體船避碰功能之研究

粟凱倫*¹ 楊敏雄* 陳宏鐘*

*國立高雄科技大學 造船及海洋工程系

關鍵詞：雙體無人船避碰系統，HDPE，ArduPilot，機器人作業系統(ROS)，人工勢場法

摘要

本文旨在開發一款具自主航行與避碰能力的雙體無人小船，並透過實驗來評估其在民生、國防等領域上的應用潛力。船體全長 1.2 m，全寬 0.7 m，模深 0.3 m，以耐衝擊及可回收的高密度聚乙烯 (HDPE) 材料製作，使用雙俥無刷馬達推進。自主航行採用 ArduPilot 韌體以 PID 控制導航，並使用機器人作業系統(ROS)，以人工勢場法開發符合國際海上避碰規則之避碰功能。於戶外封閉水域進行船舶性能試驗，收集實際船體性能參數以套用於避碰功能，並進行靜態與動態的避碰實驗，以驗證其避碰能力。

前言

近年來在人工智慧與自動化產業的蓬勃發展下，無人載具也從過往學術領域逐漸轉為商業產品。在無人船舶應用方面，諸如水文測繪、水質檢測、航運、消防等領域皆已有國內外政府機構、民間廠商投入無人船舶研發。

國內如財團法人船舶暨海洋產業研發中心，已於 2023 年完成外海自航與避碰功能測試，國外如挪威化肥業龍頭 Yara 公司，預計自 2027 年起將旗下的 Yara Birkeland 貨櫃船成為第一艘真正意義上的無人船。其中智駕系統(感知、決策與控制系統)則是其中最大商機，目前已有以色列 ORCA AI、韓國 Avikus、奧地利 SEA.AI 等多家公司投入。無人船在軍事應用方面則更具前瞻性，如近年俄烏戰爭中，烏克蘭海軍使用自殺無人船的高機動性與成本優勢，取得亮眼戰果，極大發揮不對稱作戰的價值；美國海軍也於 2019 年推動幽靈艦隊大君主 (Ghost Fleet Overlord) 計畫，建構有、無人艦艇協同作戰能力。

綜上所述，無人船舶將是造船產業的下一個發展重點之一，其中船舶智駕系統為各廠家之商業機密，對於開發特定功能無人船的機構或個人來說，技術門檻及前期研發時間將是一大挑戰，因此基於開源軟體進行二次開發不失為一個相對經濟有效的方法。

目前開源的無人載具軟韌體、開發平台主要為 ArduPilot、PX4Autopilot、ROS(Robot Operating System)三者，其中以 ArduPilot[1]及 ROS[2]提供資源最為豐富，ArduPilot 韌體主要提供路徑導航、地面站

軟體等，控制硬體則通常是 Pixhawk 系列控制板；ROS 是主要在 Linux 系統上運作的一套中介軟體，將機器人不同功能部件劃分為多個節點(Nodes)，透過 ROS 的通訊機制(如話題、服務)交換數據，本研究則再透過 ROS 之下的開源項目 MAVROS[3]轉換 ArduPilot 與 ROS 之間的資料並發佈控制指令。

ArduPilot 在無人船領域的子分支為 ArduRover，以 GPS 與 PID 控制進行自動導航，但其對於無人船所需的避碰功能支援有限，因此本研究以一艘船長 1.2 m 之 HDPE 雙體小船，使用雙俥速度差轉向，以 ROS 平台進行基於人工勢場法的 ArduRover 避碰功能開發，並探討其應用成效。

在無人船航行途中的避碰方法為利用各式感測器和演算法來偵測障礙物並調整航向，常見局部路徑規劃方法如動態窗口法(Dynamic Window Approach)、格柵法 (Grid-based method)、人工勢場法 (Artificial Potential Field) 等，其中人工勢場法為 Khatib[4]提出，此法將目標點表示為引力場，障礙物表示為斥力場，引力場導引船朝向目標，而斥力場導引船遠離障礙物。當這兩個勢場相互作用時，既會受到目標的吸引力，又會受到障礙物的排斥力，船因此會走出一條平衡路徑。其優點為計算簡單，並可以做為單獨模組，容易與本研究使用的 ArduRover 結合。

在無人船避碰功能的探討中，Song[5]等人以速度差控制之雙體船，以 2D 光達結合模糊控制進行航行避碰，李政宏[6]則以一艘水線長 3.5 m 之貨櫃船模，同樣使用 2D 光達偵測水面障礙物，以模糊控制執行符合國際海上避碰規則的避碰決策，並根據野本船舶操縱運動方程式計算到目標航向所需舵角

¹ 責任作者 (F111186102@nkust.edu.tw)

，在戶外實驗結果表示其開發的系統能夠使船模自動避碰。穆凌吉等人[7]則以人工勢場法為基礎，並結合最接近點方法開發船舶避碰模組，並以兩種船長(5 m、13 m)船型於模擬器中進行靜態與動態避碰測試，其結果顯示船舶能在至少 6 倍船長的距離下，安全避開來自各個方向的動態和靜態障礙物。

而在開源無人載具軟硬體整合應用研究中，李晨[8]以 ArduRover 進行雙體船自動導航，透過 Z 字形等路徑測試 RTL(Return-to-Launch)功能，探討其導航精度和可靠性，結果表示船能大致照規畫路徑移動。陳謙信[9]探討將 Pixhawk 控制板安裝 PX4 Autopilot 做為六軸無人機主控，Nvidia Jetson TX2 進行影像辨識，將兩者透過 MAVROS 整合應用，根據影像辨識結果轉換為飛控指令，來達成無人機自主飛行。林昱全[10]則使用 Pixhawk 控制板與樹莓派組合成一套無人機避碰系統，以深度相機獲得前方的深度圖像並生成點雲做為障礙點，接著引入人工勢場計算避碰路徑。

系統架構

本研究進行之避碰實驗所使用的雙體船以雙俾無刷馬達推進與速度差轉向，參考自現有船型以 Rhinoceros 進行船體設計與放樣，使用材料為可回收之高密度聚乙烯(HDPE)，並參考德國焊接協會發行之 DVS 2207-3[10]技術準則進行塑膠焊接，兩船體以鋁擠型連接。船體主要參數如表 1 所示，船體及裝備佈置如圖 1 所示。

表 1 船體主要參數

全長(m)	1.2
水線長(m)	1.0
模寬(m)	0.23
全寬(m)	0.7
模深(m)	0.3
船體間跨距(m)	0.25
吃水(m)	0.05
馬達最大推力(N)	25N x2
最高船速(knots)	3.1
總重(kg)	29

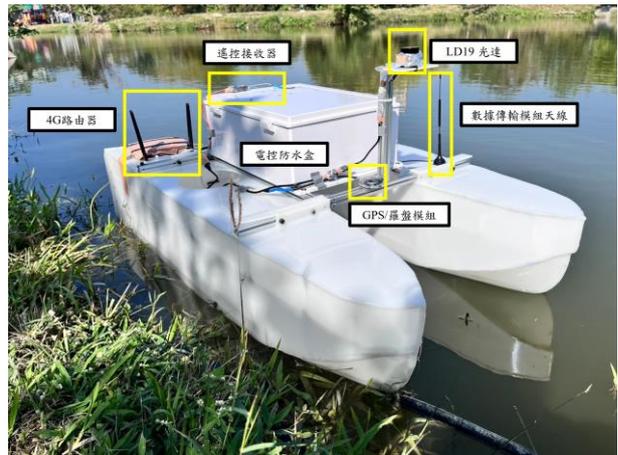


圖 1 船體及裝備佈置

1. 硬體架構

本研究控制系統之硬體架構如圖 2 所示，硬體部分使用 Pixhawk 1 及樹莓派 4B，分別安裝 ArduRover v4.2.3 及 Ubuntu Mate 20.04，ROS 版本為 Noetic，兩者以 UART 協議進行數據交換；推進使用兩具 T200 無刷馬達，以兩顆 15.6 Ah 之 Li-ion 電池供電，透過 ESC 電子變速器(即直流轉三相交流的逆變器)，以 PWM 訊號調整轉速，其中訊號寬度 $1500\mu s$ 為停止， $1900\mu s$ 為正轉最高出力； $1100\mu s$ 為反轉最高出力。

數據主要以樹莓派透過 4G 路由器以 VPN 網路傳輸，無線電數據傳輸模組作為備用。導航使用兩具 ublox M8N GNSS GPS/Compass 模組，以 10Hz 頻率接收位置及航向角資料，障礙物偵測使用 LD-19 2D TOF 光達，其偵測角度為 360° ，偵測距離最遠 12m。

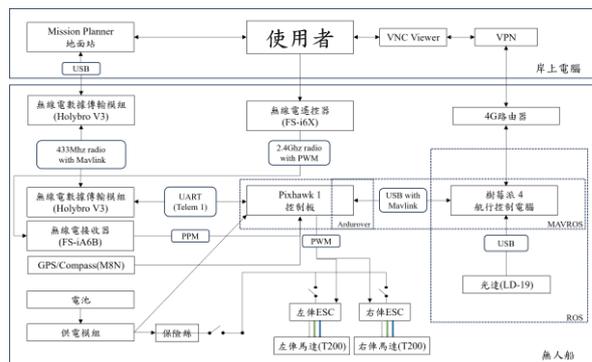


圖 2 系統硬體架構

2. 軟體架構

本研究之軟體架構如圖 3 所示，在岸上將 Pixhawk 1 與樹莓派啟動後，先透過 VPN 軟體 ZeroTier，讓岸置筆電與樹莓派處於同一區網環境，以此達到較不受限制的傳輸距離；接著以 Realvnc Viewer 遠端控制樹莓派桌面，最先啟動 MAVProxy 以 UDP 網路與 Mission Planner 地面站軟體連線，再啟動 MAVROS 與 ArduRover 連線，最後啟動光達驅動節點。

其中 Mission Planner 為與 ArduRover 配合的地面站軟體，操作環境為 Windows 系統，提供航點設定、監控航行資料、參數調整、瀏覽日誌檔等功能，透過 MAVLink 通訊協議傳輸資料。

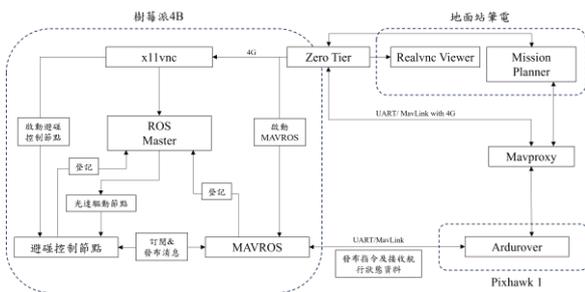


圖 3 軟體架構

在完成上述流程並待 GPS 定位良好後，在 Mission Planner 中完成航點設定，於樹莓派終端機中啟動避碰控制節點，最後就可下水進行具備避碰功能的自動航行任務，岸上筆電的控制畫面如圖 4 所示，左半邊為 Mission Planner 使用介面，右半邊為避碰程式執行畫面。

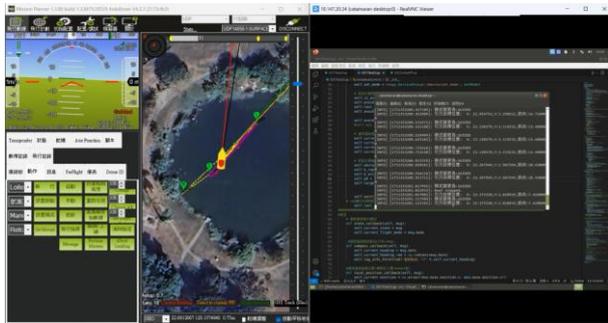


圖 4 岸上筆電控制畫面

本研究之避碰程式根據 MAVROS 其發布的各式話題接收資料，並發布速度控制指令，使用的各項話題名稱與功能如表 2 所示。

表 2 MAVROS 發布話題功能對應

話題名稱/MAVROS	功能
/battery	讀取電池電壓
/mavros_msgs/state	船的狀態訊息，如是否解鎖 (armed)、當前航行模式等
/global_position/compass_hdg	提供航向角
/global_position/global	提供經緯度
/global_position/local	發布船相對於起點的坐標位置，以 ENU (東北天)座標表示
/local_position/velocity_local	獲得當下船各軸的線速度及角速度
/setpoint_velocity/cmd_vel	發送線速度、角速度控制命令

避碰方法

為了解本船的實際操縱性能，以設定避碰期間所需參數，如所需偵測距離、轉向時間等，因此進行船體性能測試，測試項目為慣性及原地迴旋測試，兩項測試以手動遙控進行並搭配 Mission Planner 記錄資料，接著為使本船能穩定直線、轉向航行，需要先調整 ArduRover 提供的 PID 控制器參數，以較理想的控制狀態下進行避碰實驗。

1. 船體性能測試

慣性測試目的為得知本船從全速停俾到靜止所需的時間及距離，測試結果如表 3 所示，停止所需距離為 5.42 m，為增加安全餘裕，因此設定光達所需偵測距離為 7 m。

表 3 船速測試紀錄

馬達出力(%)	平均船速(knots)
25	1.30
50	2.01
75	2.77
100	3.13

表 4 慣性測試紀錄

狀態	結果
開始船速(knots)	3.10
全速到停止之時間(s)	8.90
全速到停止之距離(m)	5.42

原地迴旋測試目的則為得知本船在航行中或即將觸岸時進行緊急迴避所需的轉向時間，測試以每次增加 25%馬達出力進行，在達到該馬達出力的穩定船速後進行急轉彎，馬達出力與船速關係如表 2 所示，接著統計旋轉一圈所需時間及航向之變化。左迴旋航向歷程如圖 5 所示；右迴旋航向歷程如圖 6 所示。

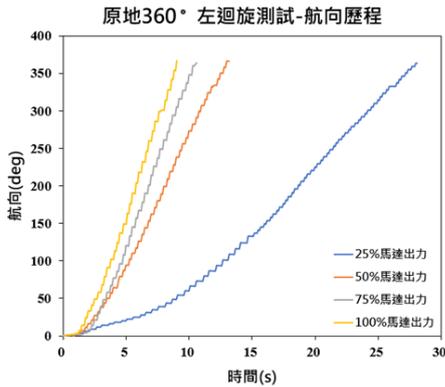


圖 5 原地左迴旋航向歷程

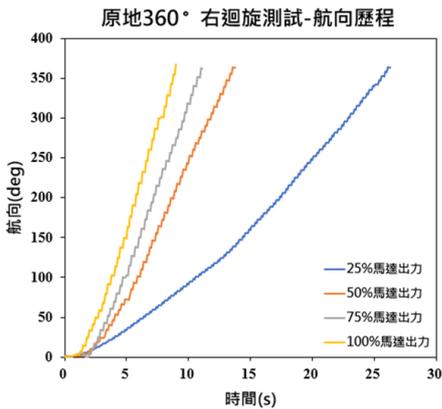


圖 6 原地右迴旋航向歷程

2. PID 參數調整

ArduRover 提供的油門、轉向控制器為 PID 控制，主要以 Mission Planner 調整參數。調整順序為先調整油門控制器，確保馬達出力能達到設定船速後，再調整轉向控制器。參數調整順序為先調整馬達輸出增益值(FF)，將所需的轉彎率轉換為馬達輸出，如船轉向緩慢，則增加；反之，則降低。接著調整 P 值，如響應過衝，降低；P 值調整後，接著調整 I 值以對抗風或水流持續產生的誤差。如果以 FF、P 和 I 項能使本船有效維持航向，最後再調整 D 值穩定系統響應，參數調整結果如圖 9 所示。



圖 9 Mission Planner PID 參數調整畫面

其他常用參數如 WP Radius 為航點直徑，當船駛入該航點直徑距離內即判定船已到達該航點，此處設定為 2 m；Cruise Speed 與 Cruise Throttle 相關，給定馬達出力後，控制器透過速度學習機制控制船保持在對應的船速，此處馬達出力設定為 50%，對應船速約 2 節(1.03 m/s)。

3. 自航路徑測試

為驗收本船經過 PID 參數調整後的控制表現，船速為 2 節，以自動(Auto)模式進行正方形、Z 字型路徑之自航測試，馬達出力平均在±50~70%之間。觀察船在直線、大角度轉向下本船的路徑表現，正方形路徑之軌跡如圖 10 所示，Z 字型路徑之軌跡如圖 11 所示，結果顯示本船能依照給定航點穩定航行。

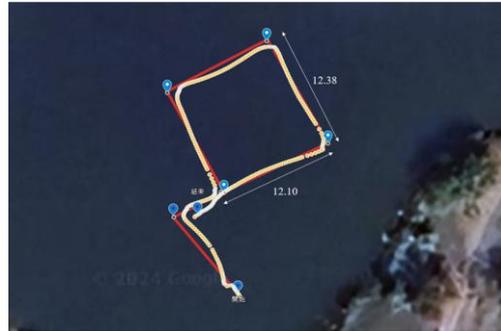


圖 10 正方形路徑測試



圖 11 Z 字形路徑測試

4. 人工勢場法避碰功能

本研究使用的人工勢場法其定義如式(1)所示，本船座標定義與人工勢場之關係則如圖 12 所示，避碰程式其流程則如圖 13 所示。

$$U_{(q)} = U_{att} + U_{rep} \quad (1)$$

其中 U_{att} 為引力場， U_{rep} 為斥力場。引力場定義如式(2)，斥力場定義如式(3)，其中 k_{att} 為引力增益常數， k_{rep} 為斥力增益常數， q 為船的當前位置， q_g 為目標點位置， $q - q_0$ 為船與障礙物之間的距離， ρ_0 為設定讓障礙物產生斥力的距離，即光達設定的偵測距離。

$$U_{att}(q) = \frac{1}{2} k_{att} (q - q_g)^2 \quad (2)$$

$$U_{rep}(q) = \begin{cases} \frac{1}{2} k_{rep} \left(\frac{1}{q - q_0} - \frac{1}{\rho_0} \right)^2, & \text{if } \rho \leq \rho_0 \\ 0, & \text{if } \rho > \rho_0 \end{cases} \quad (3)$$

將引力場取梯度，即單方向的一階導數，得到 x 方向引力如式(4)， y 方向引力如式(5)，其中 x 、 y 為船當前位置， x_{goal} 、 y_{goal} 為設定的引力位置。

$$F_{attx}(q) = -k_{att}(x - x_{goal}) \quad (4)$$

$$F_{atty}(q) = -k_{att}(y - y_{goal}) \quad (5)$$

將斥力場取梯度，得到 x 方向斥力如式(6)， y 方向斥力如式(7)，與障礙物越接近則斥力越大。其中 $x - x_{obs}$ 為船與障礙物在 x 方向的差、 $y - y_{obs}$ 為船與障礙物在 y 方向的差， $\|q - q_{obs}\|$ 為船與障礙物之間的直線距離，即擷取光達掃描的最近點之距離。

$$F_{repx}(q) = \begin{cases} k_{rep} \left(\frac{1}{q - q_0} - \frac{1}{\rho_0} \right) \left(\frac{1}{(q - q_0)^2} \right) \frac{x - x_{obs}}{\|q - q_{obs}\|}, & \text{if } q - q_0 \leq \rho_0 \\ 0, & \text{if } q - q_0 > \rho_0 \end{cases} \quad (6)$$

$$F_{repy}(q) = \begin{cases} k_{rep} \left(\frac{1}{q - q_0} - \frac{1}{\rho_0} \right) \left(\frac{1}{(q - q_0)^2} \right) \frac{y - y_{obs}}{\|q - q_{obs}\|}, & \text{if } q - q_0 \leq \rho_0 \\ 0, & \text{if } q - q_0 > \rho_0 \end{cases} \quad (7)$$

x 、 y 方向之導引力為引力與斥力在 x 、 y 方向之向量和，如式(8)、式(9)所示，最後將 x 、 y 方向導引力相加得到總導引力 F ，如式(10)所示。

$$F_x = F_{attx} + F_{repx} \quad (8)$$

$$F_y = F_{atty} + F_{repy} \quad (9)$$

$$F = F_x + F_y \quad (10)$$

在避碰程式中，先判斷得到的總導引力是否大於 0，接著根據 x 方向力並設定速度上限，發布線速度命令；轉向則以固定角速度轉向總導引力得到的新航向。因 ArduPilot 與 ROS 系統之間所使用座標系統不同，分別為 NED(北東地)及 ENU(東北天)，兩者之間則透過 MAVROS 進行轉換，本研究統一使用 ENU 座標系進行計算，如圖 12 所示。

由於光達為逆時針旋轉，與船的對地航向(COG)為反向，本研究先透過式(11)將障礙物轉換為相對 COG 之角度並以模運算只取 360° 以內之角度，接著再透過式(12)將相對 COG 之角度轉換為數學角度進行後續計算。

$$\text{COG} = [(360^\circ - \text{Lidar}_{deg}) + \text{heading}] \% 360 \quad (11)$$

$$\text{Angle} = 360^\circ - \text{COG} + 90^\circ \quad (12)$$

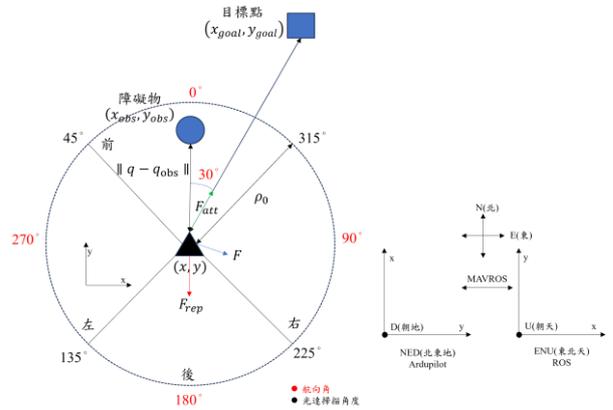


圖 12 本船座標定義與人工勢場之關係圖

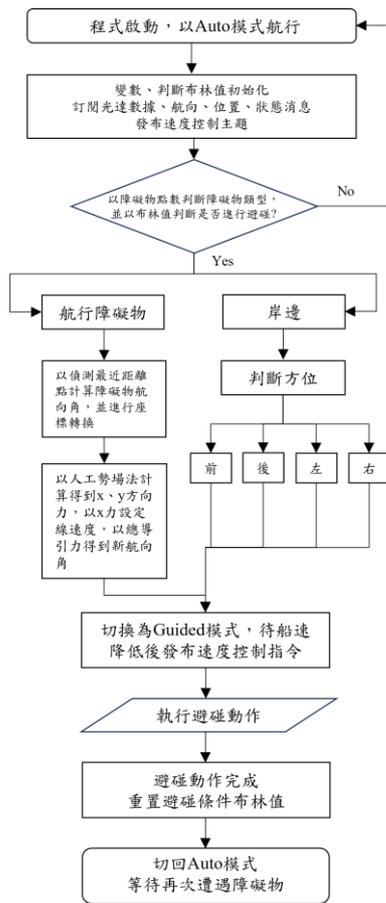


圖 13 避碰程式流程圖

避碰實驗

本研究進行的航行避碰項目分為靜態與動態避碰兩項，靜態避碰以人工勢場法規劃出及時避碰路徑；動態避碰情境則依據 IMO 於 1977 年實施之國際海上避碰規則(COLREGs)[11]，以第十四條迎艏相遇、第十五條交叉相遇情況進行實驗，如圖 14 所示，當他船位於船艏及右舷方位時，將引力目標點往當前航向向右偏移 30°，以達成本船向右轉的避讓義務。

實驗地點為高雄市仁武區八卦休閒公園內之水域，避碰情境設定為本船在自動(Auto)模式，以 2 節船速沿 AB 兩點固定航線來回航行，航點直徑為 2 m，如圖 15 所示。障礙物由一船長 60 cm 之遙控船扮演，船速 1 節，為使光達可確實偵測，於船上架設反光板，寬 70 cm、高 1 m，如圖 16 所示，期間若在 7 m 偵測範圍內遭遇障礙物，切換為導引(Guided)模式執行避碰動作，直到障礙物離開偵測範圍且不滿足障礙物成立條件，恢復至 Auto 模式繼續航行。

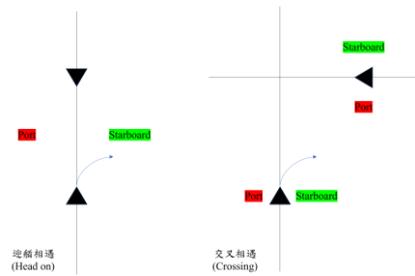


圖 14 避碰情境示意圖



圖 15 實驗環境衛星圖



圖 16 障礙物船

1. 靜態避碰

在遭遇靜態障礙的情境中，本船起始時間為 15:55:32，航向 239.01°，船速 2 節，本船在偵測到靜態障礙物後，切換為 Guided 模式開始避碰，以人工勢場法導引本船的避碰路徑，於 15:55:54 開始向左轉向至 15:55:58 避碰結束，此時航向為 166.66°，因判定已到達航點 2，恢復 Auto 模式開始回航至航點 1。本船航向與馬達出力歷程如圖 17 所示，位移及剪影分別如圖 18 及圖 23 所示，紀錄影片如[13]。

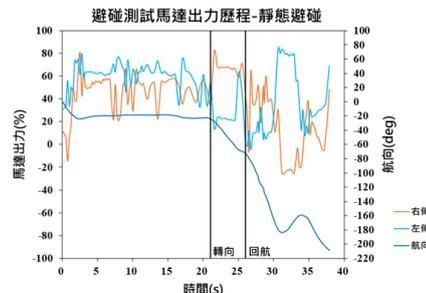


圖 17 靜態避碰情境馬達出力與航向歷程

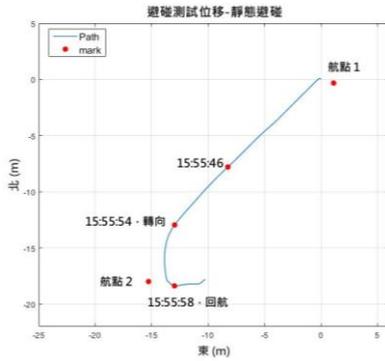


圖 18 靜態避碰情境本船位移

2. 動態避碰-迎艏相遇

在迎艏相遇的情境中，他船以 1 節船速駛向本船船艏方位，本船起始時間為 15:21:09，航向 232.82°，船速 2 節，偵測到他船後切換為 Guided 模式開始避碰，在 15:21:22 開始持續向右轉向直到 15:21:37，此時航向 258.47°，不滿足障礙物成立條件，恢復 Auto 模式回航至航點 1。本船航向與馬達出力歷程如圖 19 所示，位移及剪影分別如圖 20 及圖 24 所示，紀錄影片如[14]。

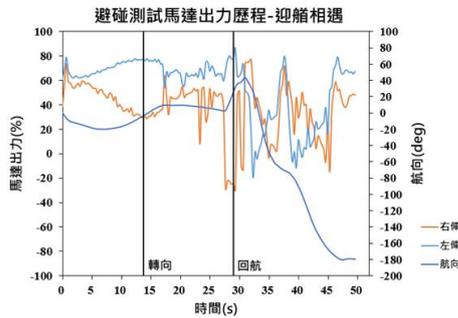


圖 19 迎艏相遇情境馬達出力與航向歷程

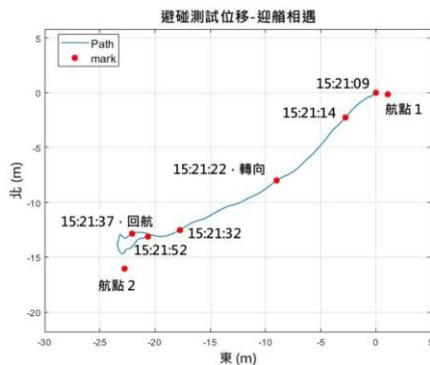


圖 20 迎艏相遇情境本船位移

3. 動態避碰-交叉相遇

在交叉相遇情境中，他船以 1 節船速駛向本船右舷方位，本船起始時間為 15:10:36，起始航向為 230.59°，偵測到他船後切換為 Guided 模式開始避碰，在 15:10:47 開始向右轉向直到 15:11:01，此時航向 211.01°，不滿足障礙物成立條件，避碰結束，然後恢復 Auto 模式朝向航點 2。本船航向與馬達出力歷程如圖 21 所示，位移及剪影分如圖 22 及圖 25 所示，紀錄影片如[15]。

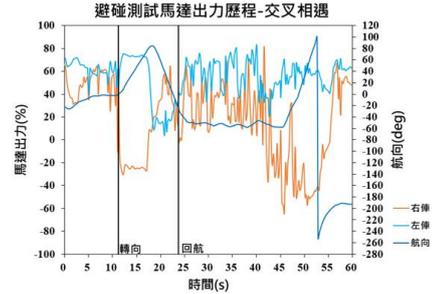


圖 21 交叉相遇情境馬達出力與航向歷程

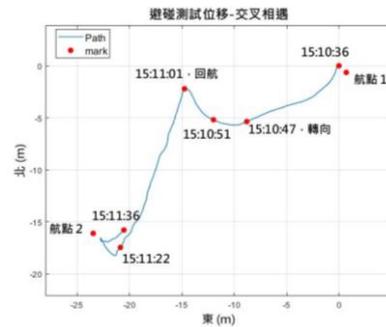


圖 22 交叉相遇情境本船位移



圖 23 靜態避碰情境剪影

參考文獻



圖 24 迎艙相遇避碰情境剪影

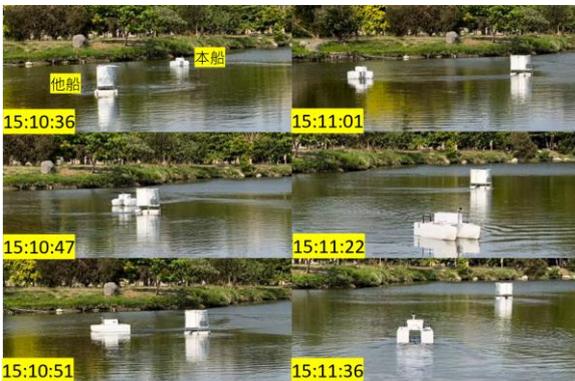


圖 25 交叉相遇避碰情境剪影

結論與建議

本研究完成基於 Ardupilot 之無人船避碰功能建置，並將其應用於一艘 1.2m 之 HDPE 小型雙體船上，其避碰成效在實驗結果中顯示可以遵從國際海上避碰規則，與障礙物在一定距離內進行閃避。

因本研究使用平面的 2D 光達，若障礙物高度低於光達架設高度，則本船無法偵測到障礙物，因此未來升級硬體可替換為 3D 光達，或加入影像辨識功能，並使用改良人工勢場法或結合其他路徑規劃演算法，以加強感知能力適應更複雜環境。

再者可將其他功能與避碰功能整合成 GUI 介面，如水質檢測系統等，取代現有以終端機輸入指令的繁瑣流程，更方便現場使用。

1. ArduPilot.org, "Rover docs," Electronic copy at: <https://ArduPilot.org/rover/index.html> (2023).
2. ROS.org, "Ros wiki," Electronic copy at: <https://wiki.ros.org/Documentation> (2023).
3. ROS.org, "Ros wiki," "mavros," Electronic copy at: <https://wiki.ros.org/mavros> (2023).
4. Khatib, O. "Real-Time obstacle avoidance for manipulators and mobile robots," 1985 IEEE International Conference on Robotics and Automation Conference, pp. 500-505, St. Louis, MO, USA (1985).
5. H.-W. Song, K. Lee, D.-H. Kim, "Obstacle Avoidance System with LiDAR Sensor Based Fuzzy Control for an Autonomous Unmanned Ship," 2018 Joint 10th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems and 19th International Symposium on Advanced Intelligent Systems, pp. 718-712, Changwon, Korea (2018).
6. 李政宏, "船舶自動避碰系統之實驗研究", 國立台灣大學工學院工程科學及海洋工程研究所, 碩士論文 (2019).
7. 穆凌吉, 陳柔華, 黃盛煒, 張理源, 鍾豐仰, 朱俊翰, 廖啟閔, 郭振華, "基於人工勢場法發展操船模擬器之自主避碰模組", 中國造船暨輪機工程學刊, 第三十九卷第四期, pp. 7-14 (2020).
8. 李晨, "'Return to Launch' Performance Analysis of an Autonomous Boat with GPS Navigation", 國立高雄科技大學造船及海洋工程研究所, 碩士論文 (2019).
9. 陳謙信, "基於 ROS 整合 Pixhawk 飛控板與 Jetson TX2 模組之無人機自主飛行控制系統設計", 淡江大學航空太空工程研究所, 碩士論文 (2022).
10. 林昱全, "基於點雲與人工勢場之無人機避障與精準降落系統", 國立中山大學資訊工程研究所, 碩士論文 (2021).
11. DVS - German Welding Society, Technical Code DVS 2207-3Welding thermoplastic materials Hot-gas string-bead welding, hot-gas welding with torch separate from filler rod pipes, pipe components and sheets Procedures, requirement (2018).
12. COLREGs. Convention on the International Regulations for Preventing Collision at sea. (1972).
13. 粟凱倫, (2024/4/11), 靜態避碰, Electronic copy at: <https://www.youtube.com/watch?v=-Uk4QwuSSQ>
14. 粟凱倫, (2024/4/11), 迎艙相遇避碰, Electronic copy at: <https://www.youtube.com/watch?v=uT3Wukoxi9M>
15. 粟凱倫, (2024/4/11), 交叉相遇避碰, Electronic copy at: <https://www.youtube.com/watch?v=7b0PWzkjMyg>

RESEARCH ON COLLISION AVOIDANCE FUNCTION FOR SMALL UNMANNED CATAMARANS MADE OF HIGH-DENSITY POLYETHYLENE (HDPE)

*K. L. Su*¹ M. H. Yang* H. C. Chen**

*Department of Naval Architecture and Ocean Engineering, National Kaohsiung University of Science and Technology

Keywords: The Collision Avoidance System For The Catamaran Unmanned Boat, HDPE, ArduPilot, ROS, Artificial Potential Field Method

ABSTRACT

This paper focuses on the development of small unmanned catamarans equipped with autonomous navigation and collision avoidance capabilities and evaluates its potential applications in civilian life and national defense sectors through experimentation. The catamaran's Length Over All (L.O.A.) is 1.2 m, its extreme breadth is 0.7 m, and its molded depth is 0.3 m. It is made of impact-resistant and recyclable high-density polyethylene (HDPE) material and is propelled by dual brushless motors. Autonomous navigation employs ArduPilot firmware with PID control, and utilizes the Robot Operating System (ROS) to develop a collision avoidance functionality using the Artificial Potential Field method, compliant with COLREGs. Performance tests for the catamaran were conducted in outdoor enclosed waters, collecting actual performance parameters of the catamaran to be applied in the collision avoidance function, and conducting both static and dynamic collision avoidance experiments to verify its collision avoidance capabilities.